

10/509699

PCT/JP03/05864

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

12.05.03

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 5月15日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-139655

[ ST.10/C ]:

[ JP2002-139655 ]

出 願 人

Applicant(s):

シチズン時計株式会社

REC'D 27 JUN 2003

WIPO

PCT

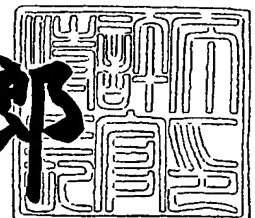
~~PRIORITY DOCUMENT~~

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2003年 6月12日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3045840

【書類名】 特許願

【整理番号】 01-0403P

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G02F 1/31

【発明者】

【住所又は居所】 東京都西東京市田無町六丁目 1 番 1 2 号 シチズン時計株式会社内

【氏名】 井出 昌史

【特許出願人】

【識別番号】 000001960

【氏名又は名称】 シチズン時計株式会社

【代表者】 春田 博

【代理人】

【識別番号】 100101915

【弁理士】

【氏名又は名称】 塩野入 章夫

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 170635

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 ダイナミックゲインイコライザ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 入射した光を分光する分光器と、  
前記分光器で分光された分光成分を入射する液晶光スイッチと、  
入射端と前記分光器との間、及び／又は前記分光器と前記液晶光スイッチとの間に配置されるレンズ系とを備え、  
前記液晶光スイッチは、前記入射した分光成分の光強度を波長毎に変更して出射することにより光の特定波長を選択的に変更することを特徴とする、ダイナミックゲインイコライザ。

【請求項 2】 前記液晶光スイッチは、複数の液晶光スイッチ素子を備え、当該液晶光スイッチ素子は、前記分光器で分光された光成分に沿ってライン状に配置することを特徴とする、請求項 1 に記載のダイナミックゲインイコライザ。

【請求項 3】 前記液晶光スイッチ素子は、前記ライン方向及び前記ライン方向と直交する方向の二次元に配置することを特徴とする、請求項 2 に記載のダイナミックゲインイコライザ。

【請求項 4】 前記液晶光スイッチ素子は、光強度を変更した光を入射方向に向けて反射して出射することを特徴とする、請求項 2 又は 3 の何れか一つに記載のダイナミックゲインイコライザ。

【請求項 5】 前記液晶光スイッチ素子は、光強度を変更した光を入射方向と異なる方向に向けて出射することを特徴とする、請求項 2 又は 3 の何れか一つに記載のダイナミックゲインイコライザ。

【請求項 6】 前記液晶光スイッチ素子は、偏光ビームスプリッタの直交する何れか二つの側部に、液晶セルと反射板とを組み合わせた光学素子を配置し、前記偏光ビームスプリッタの他の一側部を光の入射端及び反射端とし、当該液晶セルにより各偏光成分の偏光方向を制御することを特徴とする、請求項 4 又は 5 に記載のダイナミックゲインイコライザ。

【請求項 7】 前記液晶光スイッチ素子は、偏光ビームスプリッタと、少なくとも二つの反射板と、偏光方向を制御する液晶セルとを備え、

偏光ビームスプリッタで分離された二つの偏光成分が同一光路を互いに進行方向を異にして偏光ビームスプリッタに再入射され合成されるように、前記偏光ビームスプリッタ及び反射板を配置すると共に、当該光路上に前記液晶セルを配置し、当該液晶セルにより各偏光成分の偏光方向を制御することを特徴とする、請求項 4 又は 5 に記載のダイナミックゲインイコライザ。

【請求項 8】 前記液晶セルは入射直線偏光の方位角を 0 度回転と 9 0 度回転との二つの角度位置、又は任意の角度位置に制御することを特徴とする、請求項 6 又は 7 に記載のダイナミックゲインイコライザ。

【請求項 9】 前記液晶光スイッチは、前記光強度を変更して出射する出射光の残余の光の光強度を検出する光検出素子を備え、当該光検出素子は前記出射光の光強度と相補の光強度を波長毎に検出する光スペクトルアナライザを構成することを特徴とする、請求項 1 乃至 3 の何れか一つに記載のダイナミックゲインイコライザ。

【請求項 1 0】 前記液晶光スイッチ素子は、偏光ビームスプリッタの出射端の一端に光強度を検出するフォトダイオードアレイを備え、当該フォトダイオードアレイは前記出射光の光強度と相補の光強度を波長毎に検出する光スペクトルアナライザを構成することを特徴とする、請求項 6 乃至 8 の何れか一つに記載のダイナミックゲインイコライザ。

【請求項 1 1】 前記光スペクトルアナライザの検出出力に基づいて前記各液晶光スイッチ素子を制御することを特徴とする、請求項 9、又は 1 0 に記載のダイナミックゲインイコライザ。

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【0 0 0 1】

#### 【発明の属する技術分野】

本発明は、光増幅において利得の波長依存性を補償するゲインイコライザ（利得等器）に関し、特に利得補償を動的に行うことができるダイナミックゲインイコライザに関する。

#### 【0 0 0 2】

#### 【従来の技術】

光通信の分野においては、波長多重伝送 (WDM: Wavelength Division Multiplexing) 方式が知られている。この波長多重伝送方式では、複数の波長の光を光ファイバで伝送し、受信部において波長毎に分波を行うため、他の波長の光が雑音として作用することになる。特に信号光を増幅する光ファイバ増幅器の利得に波長依存性があると、増幅後の信号光強度に大きなばらつきが生じるため、このばらつきを補償する必要がある。

## 【 0 0 0 3 】

このような光強度のばらつきを補償するために、光ファイバ増幅器の出力側に光ファイバ増幅器用利得等価器を設けることが知られている。この利得等価器では、増幅後の信号光強度の波長依存性を、損失フィルタ装置によって低減し、出力光強度の波長依存性を平準化している。

## 【 0 0 0 4 】

従来の損失フィルタ装置では、希土類元素ドープ光ファイバ等の利得媒質によって光を増幅した後に、その増幅光に対するフィルタリングを行う。この損失フィルタ装置のフィルタリング特性は、利得媒質全体の最終的な利得特性に応じて定められる。利得媒質全体のゲイン特性が、例えば図 1 1 (a) の曲線 A に示される波長依存性を持つ場合、損失フィルタ装置のフィルタリング特性は図 1 1 (b) の曲線 B に示すような波長依存性を持つように設定される。曲線 B は、曲線 A の利得の相対的に高い部分に対してより大きな損失を与えるプロファイルとなるよう設定される。利得媒質によって増幅された光の光強度は、曲線 A に示すような波長依存性を持つが、損失フィルタ装置により光強度の相対的に高い部分が部分的に減少するため、図 1 1 (c) の曲線 C に示される特性の光が得られる。

このように、従来の損失フィルタ装置のフィルタリング特性は、利得媒質全体が示す利得の波長依存性に基づいており、また、この波長依存性は変化しない静的なものとして定められている。

## 【 0 0 0 5 】

しかし、光ファイバや利得媒質の波長依存性は経時変化を起こすため、フィルタリング特性が固定された損失フィルタ装置を用いて波長依存性を補償した場合には、時間変化と共に光強度にずれが生じることになる。また、光ネットワーク

を構成するには、光ファイバによりリング構造やメッシュ構造を形成する必要があるが、光が通過する経路の切り替え等によって経路長が変化する場合があり、このような場合にも、光強度にずれが生じることになる。

## 【 0 0 0 6 】

したがって、光の特定波長を選択的に制御することができる利得等価器が求められており、特に高速、大容量、長距離の光ネットワークでは不可欠なものとなる。

## 【 0 0 0 7 】

このような、波長毎にばらついた光強度を等価する可変アッテネータとしてダイナミックゲインイコライザが提案されている。提案されているダイナミックゲインイコライザは、MEMS (micro electro mechanical systems)を利用して、回折効果や反射方向により動的な利得等価を行う。このMEMSにおいて、回折効果を利用する構成では、アレイ状に配置した微小な平面ミラーを駆動して矩形波状の凹凸を形成し、この凹凸構造により回折格子を形成して光強度を動的に制御している。また、反射方向を利用する構成では、アレイ状に配置した微小な平面ミラーの傾きを変えることにより光強度を各波長毎に動的に制御している。

## 【 0 0 0 8 】

図 1 2 は、従来提案されているMEMSを用いたダイナミックゲインイコライザの構成を説明するための概略図である。

ダイナミックゲインイコライザ 1 0 1 は、光ファイバ 1 0 2 から出射した光は、レンズ 1 0 3 を経て回折格子 1 0 4 に入射する。回折格子 1 0 4 で回折された回折光は、レンズ 1 0 3 を経て各波長毎にMEMS 1 0 5 に入射する。MEMS 1 0 5 は、アレイ状に配置した微小な平面ミラーを移動させたり、傾けることにより、反射光の光強度を波長毎に変化させる。MEMS 1 0 5 により、波長毎に光強度が変化された反射光は、レンズ 1 0 3、回折格子 1 0 4 を経て再び光ファイバ 1 0 2 に戻る。MEMS 1 0 5 において、光ファイバや利得媒質の波長依存性に応じて反射光の光強度を制御することにより、光ファイバ 1 0 2 に戻された光の光強度の波長依存性は平準化される。

## 【 0 0 0 9 】

## 【発明が解決しようとする課題】

MEMSを用いたダイナミックゲインイコライザにおいて、MEMSの微小平面ミラーは制御する波長数と同等の個数が必要であり、また、回折格子及びレンズで回折される分解能と同程度の大きさとする必要があるため、複雑な機構が必要であるという問題がある。また、機械的な可動部があるためステッキングと呼ばれるミラー部分の可動が良好に行われない現象が発生するおそれがあり、良好な制御性や信頼性の点で問題がある。

## 【0010】

また、MEMSは、微小平面ミラーで反射する光路以外に光の出口がないため、MEMSによって光強度を制御した残りの光（入射光と出射光の差の光分）は、MEMS内において散乱してノイズ分となったり、熱に変換されて内部温度が上昇する要因となるという問題がある。この散乱光や発熱の問題は、ダイナミックゲインイコライザの小型化や、光信号の大容量化に伴ってより大きな問題となる。

## 【0011】

また、ダイナミックゲインイコライザにおいて、光強度の波長依存性を平準化するには、光強度の波長依存性の変化をモニタし、変化があった場合には、その変化を補償するようにダイナミックゲインイコライザを制御する必要がある。従来のMEMSを用いたダイナミックゲインイコライザにおいて、光強度の波長依存性の変化をモニタするには、ダイナミックゲインイコライザの装置外部に、ダイナミックゲインイコライザと同様構成で、例えば一例としてMEMSに代えてフォトダイオードアレイを備えた光スペクトルアナライザを設け、この光スペクトルアナライザにダイナミックゲインイコライザに入射する光を分岐した光を導いて測定する必要がある。

## 【0012】

この光スペクトルアナライザは、ダイナミックゲインイコライザと同様の構成とすることができるものの、ダイナミックゲインイコライザと共有することができないため、ダイナミックゲインイコライザと同様な構成が二つ必要となり、装置が大型化する要因となる。また、ダイナミックゲインイコライザには光スペク

トルアナライザ用に分岐した残りの光が入射されることになるため、ダイナミックゲインイコライザから出射される光の光強度は、光スペクトルアナライザに分岐される分だけ減少することになるという問題もある。

## 【 0 0 1 3 】

そこで、本発明は、従来の課題を解決して、MEMS等の機械的可動部を備える機構を用いることなく、特定波長を選択的に制御し、波長毎に光強度を等価することができるダイナミックゲインイコライザを提供することを目的とし、制御性及び信頼性を高めることを目的とする。また、補償によって残余した光による散乱光や発熱の問題を除くことを目的とし、また、光のモニタするために要する別途の光スペクトルアナライザを不要とし、また、光をモニタするための光分岐を不要とすることを目的とする。

## 【 0 0 1 4 】

## 【課題を解決するための手段】

本発明のダイナミックゲインイコライザは、光の特定波長を選択的に制御するものであり、光を増幅する利得媒質の利得が波長に依存して変化する場合にその利得の波長依存性を補償するために使用することができる。本発明のダイナミックゲインイコライザでは、波長毎の光強度の変更を液晶光スイッチを用いて行うことにより、アレイ状に配置した微小な平面ミラーを駆動するMEMS等の機械的要素が不要な構成とするものである。この機械的要素を除くことにより制御性及び信頼性を高めることができる。

## 【 0 0 1 5 】

また、本発明のダイナミックゲインイコライザでは、液晶光スイッチは光強度の変更によって補償した余りの光を液晶光スイッチの外部に取り出すことができる。これによって、液晶光スイッチ内にとどまる光成分がないため、液晶光スイッチ内における散乱光や発熱の発生を防ぐことができる。

## 【 0 0 1 6 】

また、本発明のダイナミックゲインイコライザでは、液晶光スイッチを用いることによって補償により余った光を外部に取り出すことができ、この取り出した光を検出することにより、光の光強度をモニタすることができる。光強度をモニ



タするために入射光を光分岐すると目的とする光の光強度が減少するが、本発明によれば、このモニタに用いる光は補償した後に余った光であるため、入射光を光分岐する必要がなく、入射光を光分岐することによる光強度の低下を防ぐことができる。

## 【 0 0 1 7 】

本発明のダイナミックゲインイコライザは、入射端から入射した光を分光する分光器と、分光器で分光された分光成分を入射する液晶光スイッチと、入射端と分光器との間、及び／又は分光器と液晶光スイッチとの間に配置されるレンズ系とを備えた構成とし、液晶光スイッチは、入射した分光成分の光強度を波長毎に変更して出射する。これにより、光の特定波長を選択的に変更する。なお、入射光は光ファイバから入射し、出射光は光ファイバに出射するようにしてもよく、この場合には、ダイナミックゲインイコライザと各光ファイバとの間は、コリメータ等を介して行うことができる。

## 【 0 0 1 8 】

液晶光スイッチは複数の液晶光スイッチ素子により構成することができる。この液晶光スイッチ素子の配置は一次元配置あるいは二次元配置とすることができる。

第 1 の配置態様は一次元配置であり、分光器で分光された光成分に沿ってライン状に配置する。この一次元配置により、分光器で分光された光成分の光強度を各波長毎に変更することができる。

液晶光スイッチ素子の第 2 の配置態様は二次元配置であり、液晶光スイッチ素子を分光器で分光された光成分に沿うライン方向及びこのライン方向と直交する方向に配置する。この二次元配置では、ライン方向の配置により、分光器で分光された光成分の光強度を各波長毎に変更すると共に、ライン方向と直交する方向の配置により、各波長における光強度をより細かく変更することができる。

## 【 0 0 1 9 】

本発明に用いる液晶光スイッチ素子は、出射する光の方向により二つの出射態様とすることができる。

第 1 の出射態様は、光強度を変更した光を入射方向に向けて反射して出射する

再帰反射型である。再帰反射型の態様によれば、光強度を変更し補償した光を入射光と同方向に戻すことができる。また、第2の出射態様は、光強度を変更した光を入射方向と異なる方向に向けて出射する通過型である。通過型の態様によれば、光強度を変更し補償した光を入射光と異なる方向に出射することができ、入射光との分離が容易となる。

#### 【 0 0 2 0 】

また、本発明のダイナミックゲインイコライザに用いる液晶光スイッチの構成は、種々の構成態様とすることができる。

第1の構成態様は、偏光ビームスプリッタの直交する何れか二つの側部に、液晶セルと反射板とを組み合わせた光学素子を配置し、偏光ビームスプリッタの他の一側部を光の入射端及び反射端とする。

#### 【 0 0 2 1 】

第2の構成態様では、液晶光スイッチ素子は、偏光ビームスプリッタと、少なくとも二つの反射板と、偏光方向を制御する液晶セルとを備え、偏光ビームスプリッタで分離された二つの偏光成分が同一光路を互いに進行方向を異にして偏光ビームスプリッタに再入射され合成されるように、偏光ビームスプリッタ及び反射板を配置すると共に、光路上に液晶セルを配置する。

#### 【 0 0 2 2 】

第1，2の構成態様において、液晶セルにより各偏光成分の偏光方向を制御することで光強度を変更する。液晶セルの各偏光成分の偏光方向の制御は、二つの制御態様とすることができる。

第1の制御態様は、液晶セルを、入射直線偏光の方位角を0度回転と90度回転との二つの角度位置、あるいは任意の角度位置で制御する。0度回転と90度回転との二つの角度位置で制御することで、出射する光をオン，オフ制御し、これによって光強度を変更する。

#### 【 0 0 2 3 】

第2の制御態様は、液晶セルを、入射直線偏光の方位角を任意の角度位置で制御する。任意の角度位置で制御することにより、出射する光の光強度を中間状態で制御し、これによって液晶セルを可変減衰器として使用して光強度を変更する

## 【 0 0 2 4 】

また、本発明のダイナミックゲインイコライザは、光強度をモニタする構成を備えることができる。このモニタを備える構成では、液晶光スイッチに、光強度を変更して出射する出射光の残余の光の光強度を検出する光検出素子を設ける。これにより、光検出素子は出射光の光強度と相補の光強度を波長毎に検出する光スペクトルアナライザを構成する。より詳細には、液晶光スイッチ素子に、偏光ビームスプリッタの出射端の一端に光強度を検出するフォトダイオードアレイを設け、このフォトダイオードアレイにより出射光の光強度と相補の光強度を波長毎に検出する光スペクトルアナライザを構成する。

## 【 0 0 2 5 】

また、本発明のダイナミックゲインイコライザは、光スペクトルアナライザの検出出力に基づいて各液晶光スイッチ素子を制御する。本発明の光スペクトルアナライザが検出する光強度は、各液晶光スイッチ素子が出射する光の光強度と相補的であり、例えば、出射する光の光強度が予め定めた大きさとなるように、光スペクトルアナライザが検出する光強度に基づいて各液晶光スイッチ素子を制御する。

## 【 0 0 2 6 】

## 【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図を参照しながら詳細に説明する。

図 1 は、本発明のダイナミックゲインイコライザの概略構成を説明するための図である。図 1 に示す構成例は、光強度を変更した光を入射方向に向けて反射して出射する再帰反射型を示している。なお、図 1 (a) , (b) は光強度のモニタ機能を備えない構成例であり、図 1 (c) は光強度のモニタ機能を備えてなる構成例である。

## 【 0 0 2 7 】

図 1 (a) に示す構成例において、本発明のダイナミックゲインイコライザ 1 A は、入射した光を分光する分光器 4 と、分光器 4 で分光された分光成分を入射する液晶光スイッチ 5 A と、入射端と分光器 4 との間、分光器 4 と液晶光スイッ

チ 5 との間に配置される光学器 3 ( レンズ 3 a , 3 b ) とを備える。

【 0 0 2 8 】

入射光は、光ファイバ 2 a から入射することができる。光ファイバ 2 a を通った光は、光ファイバ 2 a の端部に接続されたコリメータ 6 a を介し、レンズ 3 a を通って分光器 4 に導かれる。分光器 4 により各波長に分光された光成分は、レンズ 3 b を通して液晶光スイッチ 5 A に導入される。

【 0 0 2 9 】

再帰反射型の液晶光スイッチ 5 A は、導入された各波長成分の光強度を変更し、強度変更した光を反射する。液晶光スイッチ 5 A で反射された光は、入射して液晶光スイッチ 5 A に至った光路を逆にたどって、レンズ 3 b , 分光器 4 , レンズ 3 a , 及びコリメータ 6 a を通り、光ファイバ 2 a に戻される。液晶光スイッチ 5 A は各波長毎に光強度を変更することで、光ファイバ 2 a に戻す光の光強度を所定の波長特性にすることができる。

【 0 0 3 0 】

例えば、光を増幅する利得媒質の利得が波長に依存して変化するなどによって、光ファイバ 2 a から入射される光が変化したときには、液晶光スイッチ 5 A によりこの利得の波長依存性を補償するよう入射した光強度を変更し出射する。なお、光ファイバ 2 a に一芯コリメータ 6 a が接続される場合には、ダイナミックゲインイコライザ 1 A からの光をサーキュレータ 7 で分離し、光ファイバ 2 b に出射する。

【 0 0 3 1 】

図 1 ( b ) は、二芯コリメータ 6 b を用いた構成例である。この構成例では、図 1 ( a ) が備えるサーキュレータ 7 を不要とし、図 1 ( a ) の一芯コリメータ 6 a に代えて二芯コリメータ 6 b を用いる。これにより、光ファイバ 2 a からの入射光は、二芯コリメータ 6 b を経てダイナミックゲインイコライザ 1 B に入射され、ダイナミックゲインイコライザ 1 B で光強度が変更された光は、二芯コリメータ 6 b からサーキュレータ 7 を介することなく直接光ファイバ 2 b に出射される。

【 0 0 3 2 】

また、図1(c)は光強度のモニタ機能を備え、このモニタした光強度を用いて液晶光スイッチ5Aを制御する構成例である。なお、図1(c)では、図1(a)のサーキュレータ7及び一芯コリメータ6aを用いた構成例に適用した場合を示しているが、図1(b)の二芯コリメータ6bを用いた構成例に適用することもできる。

#### 【0033】

図1(c)において、液晶光スイッチ5Aは、フォトダイオードアレイ(PDA)8等の光強度検出器を備える。液晶光スイッチ5Aは、入射光の一部を反射して入射側に戻すと共に、反射方向と異なる方向に導く。フォトダイオードアレイ8は、反射光以外の出射光を取り込み各波長毎の光強度を検出する。

#### 【0034】

フォトダイオードアレイ8で検出された検出信号はモニタ装置9でモニタされ、モニタ出力は制御手段10により液晶光スイッチ5Aを制御する。なお、モニタ出力は、図示しない表示装置に表示してもよく、また、制御手段10を備えず、モニタ出力のみを表示するようにしてもよい。なお、光ファイバ2a, 2bはシングルモードファイバとする。

#### 【0035】

次に、液晶光スイッチの構成、及び液晶光スイッチ5による光の波長特性の制御について図2を用いて説明する。なお、液晶光スイッチは、出射光を入射光と同方向に反射する再帰反射型、出射光を入射光と異なる向に導く通過型の何れにも適応することができる。

#### 【0036】

図2(a)は、液晶光スイッチを構成する複数の液晶光スイッチ素子の一次元配置を示している。複数の液晶光スイッチ素子5-1, 5-2, 5-3, ..., 5-nを、分光器が分光する分光成分に沿ってライン状に配置し、各波長 $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ , ...,  $\lambda_n$ に対応させる。これにより、各液晶光スイッチ素子5-1, 5-2, 5-3, ..., 5-nは、それぞれ波長 $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ , ...,  $\lambda_n$ の光強度を変更する。同様に、図2(b)は、液晶光スイッチを構成する複数の液晶光スイッチ素子の二次元配置を示している。複数の液晶光スイッチ素子5-1a

,  $5-1b$ ,  $5-1c$ , ...,  $5-1m$ ,  $5-2a$ ,  $5-2b$ ,  $5-2c$ , ...,  $5-2m$ ,  $5-na$ ,  $5-nb$ ,  $5-nc$ , ...,  $5-nm$ を、分光器が分光する分光成分のライン方向、及びこのライン方向と直交する方向に沿って配置し、例えば、液晶光スイッチ素子 $5-1a$ ,  $5-1b$ ,  $5-1c$ , ...,  $5-1m$ を波長 $\lambda_1$ に対応させ、液晶光スイッチ素子 $5-2a$ ,  $5-2b$ ,  $5-2c$ , ...,  $5-2m$ を波長 $\lambda_2$ に対応させる。他の液晶光スイッチ素子についても同様である。

## 【0037】

この二次元配置によれば、各波長において同じ波長に対応するの光強度を複数の液晶光スイッチ素子で光強度を変更することにより、各波長の光強度をより細かく変更することができる。

## 【0038】

図2(c)は、各液晶光スイッチ素子に入射する光の光強度(図中の実線A)と、光強度を変更した後に射出する光の光強度(図中の破線B)の概略例を示している。

利得媒質の利得の波長依存性により、図2(c)の実線Aに示すように波長によって利得が変動したとき、各波長に対応して配置した液晶光スイッチ素子によって波長毎の光強度を減少させることにより、例えば、図2(c)の破線Bに示すように、どの波長に対してもほぼ同じ強度特性とすることができる。なお、どのような波長特性とするかは必要に応じて定めることができる。

## 【0039】

次に、フォトダイオードアレイを備える液晶光スイッチの構成、及びこの液晶光スイッチによる光の波長特性の制御について図3を用いて説明する。なお、ここでは、液晶光スイッチとして、射出光を入射光と同方向に反射する再帰反射型、射出光を入射光と異なる方向に導く通過型の何れに適應することができる。

## 【0040】

図3(a)は、液晶光スイッチを構成する複数の液晶光スイッチ素子の一次元配置を示している。この液晶光スイッチは、図2に示した構成と同様の一次元配置の液晶光スイッチにフォトダイオードアレイ8を備える。フォトダイオードアレイ8は液晶光スイッチ素子の一出力端に併設する。

## 【 0 0 4 1 】

分光器 4 が分光するラインに沿って配置した複数の液晶光スイッチ素子 5-1, 5-2, 5-3, ..., 5-n に並べて、フォトダイオードアレイ 8-1, 8-2, 8-3, ..., 8-n を併設する。フォトダイオードアレイ 8-1, 8-2, 8-3, ..., 8-n は、液晶光スイッチ素子 5-1, 5-2, 5-3, ..., 5-n が光強度変更して反射した光の残りの光の光強度を各波長  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ , ...,  $\lambda_n$  毎に検出する。

## 【 0 0 4 2 】

同様に、図 3 (b) は、液晶光スイッチを構成する複数の液晶光スイッチ素子及びフォトダイオードアレイの二次元配置を示している。液晶光スイッチは、図 2 に示した構成と同様の二次元配置の液晶光スイッチにフォトダイオードアレイ 8 を備える。フォトダイオードアレイ 8 は液晶光スイッチの一出力端に併設する。

## 【 0 0 4 3 】

分光器 4 が分光するライン、及びこのラインと直交する方向に沿って配置した、複数の液晶光スイッチ素子 5-1 a, 5-1 b, 5-1 c, ..., 5-1 m, 5-2 a, 5-2 b, 5-2 c, ..., 5-2 m, 5-n a, 5-n b, 5-n c, ..., 5-n m に並べて、フォトダイオードアレイ 8-1 a, 8-1 b, 8-1 c, ..., 8-1 m, 8-2 a, 8-2 b, 8-2 c, ..., 8-2 m, 8-n a, 8-n b, 8-n c, ..., 8-n m を併設する。フォトダイオードアレイ 8-1 a, 8-1 b, 8-1 c, ..., 8-1 m, ..., 8-n a, 8-n b, 8-n c, ..., 8-n m は、液晶光スイッチ素子 5-1 a, 5-1 b, 5-1 c, ..., 5-1 m, ..., 5-n a, 5-n b, 5-n c, ..., 5-n m が光強度変更して反射する光に対して残った光の光強度を各波長  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ , ...,  $\lambda_n$  毎に検出する。

## 【 0 0 4 4 】

例えば、液晶光スイッチ素子 5-1 a, 5-1 b, 5-1 c, ..., 5-1 m を  $\lambda_1$  に対応させると、フォトダイオードアレイ 8-1 a, 8-1 b, 8-1 c, ..., 8-1 m は、各液晶光スイッチ素子 5-1 a, 5-1 b, 5-1 c, ..., 5-1 m が波長  $\lambda_1$  の光について光強度変更した残りの光の光強度を検出する。他

の液晶光スイッチ素子についても同様である。

【 0 0 4 5 】

この二次元配置によれば、各波長において同じ波長に対応する光強度を複数のフォトダイオードアレイで光強度を検出することにより、各波長の光強度をより細かく検出し、さらにより細かく変更することができる。

【 0 0 4 6 】

図 3 (c) は、図 2 (c) と同様であり、各液晶光スイッチ素子に入射する光の光強度 (図中の実線 A) と、光強度を変更した後に射出する光の光強度 (図中の破線 B) の概略例を示している。

利得媒質の利得の波長依存性により、図 3 (c) の実線 A に示すように波長によって利得が変動したとき、各波長に対応する液晶光スイッチ素子によって波長毎の光強度を減少させることにより、例えば、図 3 (c) の破線 B に示すように、どの波長に対してもほぼ同じ強度特性とすることができる。なお、どのような波長特性とするかは必要に応じて定めることができる。

【 0 0 4 7 】

図 3 (d) はフォトダイオードアレイの出力例を示している。フォトダイオードアレイの検出出力は、液晶光スイッチが光強度変更して射出した残りの光の強度であり、図 3 (c) 中の実線 A と破線 B との差分に相当する。

【 0 0 4 8 】

例えば、図 3 (c) の破線 B に示すような波長特性となるように液晶光スイッチによる光強度変更を設定した場合は、利得変動等が無く、入射光の光強度に変化が無ければ、図 3 (d) に示すような特性のフォトダイオードアレイの出力が得られる。逆に、フォトダイオードアレイの出力特性は、図 3 (d) に示す特性からずれた場合には、入射光の光強度が変化したことを表す。このとき、光の波長特性を設定した特性に合わせるには、フォトダイオードアレイの出力特性が設定時の特性となるように、液晶光スイッチによる光強度の変更を制御する。

【 0 0 4 9 】

次に、本発明の液晶光スイッチに用いる液晶光スイッチ素子について、二つの構成態様を説明する。



第 1 の構成態様は、偏光ビームスプリッタの直交する何れか二つの側部に、液晶セルと反射板とを組み合わせた光学素子を配置し、偏光ビームスプリッタの他の一側部を光の入射端及び反射端とする構成である。以下、図 4 を用いて第 1 の構成態様について説明する。

## 【 0 0 5 0 】

図 4 (a) において、液晶光スイッチ 5 は、偏光ビームスプリッタ 1 1 に対して直交する二つの各側に、液晶セル 1 3 と反射板 1 5 とを組み合わせた光学素子、及び液晶セル 1 4 と反射板 1 6 とを組み合わせた光学素子を配置し、偏光ビームスプリッタ 1 1 を挟んで液晶セル 1 3 と対向する側を入射端及び出射端としてコリメータ 1 7 を介して光ファイバ 1 9 を接続する。一方、偏光ビームスプリッタ 1 1 を挟んで液晶セル 1 4 と対向する側は、光強度を変更した残りの光の出射端となり、図示しないコリメータを介して光ファイバを接続する他、フォトダイオードアレイを配置してモニタを構成することができる。

## 【 0 0 5 1 】

光ファイバ 1 9 側は入射端と出射端とを兼ねているため、サーキュレータ 1 8 を接続することによって入射光と出射光を分離する。液晶セル 1 3, 1 4 は、電圧の印加によって、入射した光の偏光状態を  $\lambda/4$  波長変化させる。この構成では、反射板と組み合わせることで、入射と出射で合わせて偏光状態が  $\lambda/2$  波長変化することになる。なお、偏光ビームスプリッタ 1 1 は、偏光分離合成膜 1 2 を備えている。

## 【 0 0 5 2 】

この構成の液晶光スイッチでは、スイッチ動作として入射端側に光が出射しない状態 (Exchanging state) と入射端に光が出射する状態 (Straight state) の二つの動作をとることができる。

## 【 0 0 5 3 】

図 4 (b) は Exchanging state を説明するための図である。この動作状態では、液晶セル 1 3 及び液晶セル 1 4 に電圧を印加しない。光ファイバ 1 9 から入射した光は偏光面が直交する二つの偏光成分 p と偏光成分 s から成り、コリメータ 1 7 で平行ビームとなった後、偏光ビームスプリッタ 1 1 に入って偏光分離合成

膜 1 2 により直進する偏光成分 p と反射する偏光成分 s に分離される。

【 0 0 5 4 】

液晶セル 1 3 及び液晶セル 1 4 に電圧が印加されていない場合には、液晶セル 1 3 及び液晶セル 1 4 により偏光状態の変換が行われる。なお、図 4 ( b ) では、偏光状態の変換が行われる状態を O N で表している。直進する偏光成分 p は、 $\lambda / 4$  波長だけ偏光状態が変化して液晶セル 1 3 を通過した後、反射板 1 5 で反射し再び液晶セル 1 3 を通過する。このとき、さらに偏光状態は  $\lambda / 4$  波長変化し入射した偏光成分 p は偏光成分 s に変換される。変換された偏光成分 s は、偏光分離合成膜 1 2 で反射され、入射端と異なる端部から出射される。一方、偏光分離合成膜 1 2 で反射した偏光成分 s は、 $\lambda / 4$  波長だけ偏光状態が変化して液晶セル 1 4 を通過した後、反射板 1 6 で反射し再び液晶セル 1 4 を通過する。このとき、さらに偏光状態は  $\lambda / 4$  波長変化し入射した偏光成分 s は偏光成分 p に変換される。変換された偏光成分 p は、偏光分離合成膜 1 2 を通過し、入射端と異なる端部から出射される。これによって、入射した光は入射端とは異なる端部から出射することになる。

【 0 0 5 5 】

また、図 4 ( c ) は Straight state を説明するための図である。この動作状態では、液晶セル 1 3 及び液晶セル 1 4 に電圧を印加する。液晶セル 1 3 及び液晶セル 1 4 に電圧が印加されている場合には、液晶セル 1 3 及び液晶セル 1 4 により偏光状態の変換が行われない。なお、図 4 ( c ) では、偏光状態の変換が行われない状態を O F F で表している。

【 0 0 5 6 】

直進する偏光成分 p は、 $\lambda / 4$  波長だけそのままの偏光状態で液晶セル 1 3 を通過した後、反射板 1 5 で反射し再びそのままの偏光状態で液晶セル 1 3 を通過する。反射後、液晶セル 1 3 を通過した偏光成分 p は、偏光分離合成膜 1 2 を直進し、コリメータ 1 7 を介して光ファイバ 1 9 に出射される。一方、偏光分離合成膜 1 2 で反射した偏光成分 s は、そのままの偏光状態で液晶セル 1 4 を通過した後、反射板 1 6 で反射し再びそのままの偏光状態で液晶セル 1 4 を通過する。反射後、液晶セル 1 4 を通過した偏光成分 s は、偏光分離合成膜 1 2 で反射し、

コリメータ 17 を介して光ファイバ 19 に出射される。これによって、入射した光は入射端と同じ端部から出射することになる。

## 【 0 0 5 7 】

なお、上記構成の液晶光スイッチと同様の構成により成る  $2 \times 2$  光切替スイッチの構成及び  $2 \times 2$  光切替スイッチを用いたアドドロップマルチプレクサの構成は、例えば、Optical Engineering, Vol.40 No.8, 1521-1528, August 2001 (Saru n Sumriddetchakajorn, Nabeel A.Riza, Deepak K.Sengupta) に記載されている。

## 【 0 0 5 8 】

第 2 の構成態様は、液晶光スイッチ素子は、偏光ビームスプリッタと、少なくとも二つの反射板と、偏光方向を制御する液晶セルとを備え、偏光ビームスプリッタで分離された二つの偏光成分が同一光路を互いに進行方向を異にして偏光ビームスプリッタに再入射され合成されるように、偏光ビームスプリッタ及び反射板を配置すると共に、光路上に液晶セルを配置する。

## 【 0 0 5 9 】

以下、図 5 を用いて第 2 の構成態様について説明する。

図 5 において、液晶光スイッチ 5 は、偏光分離合成手段 21 と、少なくとも二つの反射手段 22 と、偏光方向を制御する偏光制御手段 23 とを備える。偏光分離合成手段 21 は、入射した光に含まれる p 偏光成分と s 偏光成分とに分離し、p 偏光成分についてはそのまま直進させ、s 偏光成分については反射させる。

## 【 0 0 6 0 】

反射手段 22 (22A, 22B) は、偏光分離合成手段 21 で分離された二つの偏光成分が同一光路を互いに進行方向を異にして偏光分離合成手段 21 に再入射するように配置する。図中に示す T で示される 3 角形は、偏光分離合成手段 21 及び反射手段 22, 23 によって形成される光路を示し、図中の a で示す方向から入射した光についてみると、偏光分離合成手段 21 を直進し、反射手段 22A 及び反射手段 22B の順で反射された後、再び偏光分離合成手段 21 に戻る経路 c と、偏光分離合成手段 21 で反射し、反射手段 22B 及び反射手段 22A の順で反射された後、再び偏光分離合成手段 21 に戻る経路 d とが形成され、二つ

の経路 c, d は同一の光路となる。なお、図中の b で示す方向から入射した光についてみても、偏光分離合成手段 2 1, 反射手段 2 2 A, 2 2 B の配置は光学的に対称となるため、同様に二つの経路 c, d は同一の光路となる。

## 【 0 0 6 1 】

また、この光路上に偏光状態を制御する偏光制御手段 2 3 を配置する。なお、偏光制御手段 2 3 の配置位置は、光路上において種々の態様とすることができる。

この構成により、異なる経路であっても、同一光路長を有し、光路上において通過する反射手段や偏光制御手段等の光学素子も同一とすることができる。

## 【 0 0 6 2 】

なお、偏光分離合成手段 2 1 は偏光分離合成膜により形成することができ、また、偏光制御手段 2 3 は液晶セルで形成することができる。

## 【 0 0 6 3 】

上記第 2 の構成態様に基づく構成例、及びその構成例における動作状態について、図 5 (b), (c) を用いて説明する。

構成例は、偏光分離合成手段 2 1 に対して対称な位置において、二つの反射板 2 2 A, 2 2 B を偏光成分の入射角及び出射角が 2 2. 5 度となるように配置する。なお、入射角及び出射角は図中において  $\theta$  で示している。この構成例では、 $\lambda/4$  波長の偏光制御を行う偏光制御手段 2 3 a を二つの反射板 2 2 a, 2 2 b の内の一方の反射板（図では反射板 2 2 a の例を示しているが、反射板 2 2 b とすることもできる）の光路上の前方位置に配置する。

## 【 0 0 6 4 】

図 5 (b) は前記した Exchanging state に対応する動作を説明するための図である。この動作状態では、偏光制御手段による偏光変換を行わない。偏光制御手段として液晶セルを用いる場合には、液晶セルに電圧を印加することでこの動作状態とすることができる。図ではこの動作状態を OFF で示している。

## 【 0 0 6 5 】

入射端（図中の IN）から入射した光は偏光面が直交する二つの偏光成分 p と偏光成分 s から成り、図示しないコリメータで平行ビームとなった後、偏光分離

合成手段 2 1 により直進する偏光成分 p と反射する偏光成分 s に分離される。

【 0 0 6 6 】

この動作状態では偏光制御手段 2 3 a は偏光変換を行わないため、直進する偏光成分 p は、そのままの偏光状態で偏光制御手段 2 3 a を通過した後、反射板 2 2 a で反射されて再び偏光制御手段 2 3 a を通過する。このとき、偏光状態は変化せずに偏光成分 p のままである。偏光成分 p は、さらに反射板 2 2 b で反射され、再び偏光分離合成手段 2 1 に達する。このときの偏光成分 p の進行方向は、入射方向と直交する方向となる。この偏光成分 p は偏光分離合成手段 2 1 を直進し、入射端と異なる端部から出射される。

【 0 0 6 7 】

一方、偏光分離合成手段 2 1 で反射した偏光成分 s は反射板 2 2 b で反射され、そのままの偏光状態で偏光制御手段 2 3 a を通過した後、反射板 2 2 a で反射されて再び偏光制御手段 2 3 a を通過する。このとき、偏光状態は変化せずに偏光成分 s のままである。偏光成分 s は再び偏光分離合成手段 2 1 に達し反射される。このときの反射方向は、入射方向と直交する方向となり、入射端と異なる端部から出射される。これによって、入射した光は入射端とは異なる端部から出射することになる。

【 0 0 6 8 】

図 5 (c) は前記した Straight state に対応する動作を説明するための図である。この動作状態では、偏光制御手段による偏光変換を行う。偏光制御手段として液晶セルを用いる場合には、液晶セルに電圧を印加しないことで動作状態とすることができる。図ではこの動作状態を ON で示している。

入射端 (図中の IN) から入射した光は図示しないコリメータで平行ビームとなった後、偏光分離合成手段 2 1 により直進する偏光成分 p と反射する偏光成分 s に分離される。

【 0 0 6 9 】

この動作状態では偏光制御手段 2 3 a は偏光変換を行うため、直進する偏光成分 p は偏光制御手段 2 3 a を通過することで  $\lambda/4$  波長変換された後反射板 2 2 a で反射し、再び偏光制御手段 2 3 a を通過することで  $\lambda/4$  波長変換されて偏

光成分  $s$  に変換される。偏光成分  $s$  は、さらに反射板 2 2 b で反射し、再び偏光分離合成手段 2 1 に達する。このときの偏光成分  $s$  の進行方向は、入射方向と直交する方向となる。この偏光成分  $s$  は偏光分離合成手段 2 1 で反射され、図示しないコリメータを介して入射端と同じ出射端 O U T から出射される。

## 【 0 0 7 0 】

一方、偏光分離合成手段 2 1 で反射した偏光成分  $s$  は反射板 2 2 b で反射され、次に偏光制御手段 2 3 a を通過することで  $\lambda / 4$  波長変換された後反射板 2 2 a で反射し、再び偏光制御手段 2 3 a を通過することで  $\lambda / 4$  波長変換されて偏光成分  $p$  に変換される。偏光成分  $p$  は再び偏光分離合成手段 2 1 に達し直進する。このときの進行方向は、入射方向と逆方向となり、図示しないコリメータを介して入射端と同じ出射端 O U T から出射される。これによって、入射した光は入射端とは同じ端部から出射することになる。

## 【 0 0 7 1 】

第 2 の構成態様に基づく構成例は、図 5 に示した構成の他、図 6 に示す構成とすることができる。

図 6 ( a ) に示す構成例は、偏光分離合成手段 2 1 に対して対称な位置において、二つの反射板 2 2 a , 2 2 b を偏光成分の入射角及び出射角が 2 2 . 5 度となるように配置する。なお、入射角及び出射角は図中において  $\theta$  で示している。この構成例では、 $\lambda / 8$  波長の偏光制御を行う偏光制御手段 2 3 b , 2 3 c を二つの反射板 2 2 a , 2 2 b の光路上の前方位置に配置する。

## 【 0 0 7 2 】

図 6 ( b ) に示す構成例は、偏光分離合成手段に対して対称な位置において、二つの反射板 2 2 a , 2 2 b を偏光成分の入射角及び出射角を 4 5 度に配置し、さらに、1つの反射板 2 2 c を二つの反射板 2 2 a , 2 2 b を結ぶ光路上であってこれらの反射板 2 2 a , 2 2 b に対して垂直方向に配置する。この構成例では、 $\lambda / 4$  波長の偏光制御を行う偏光制御手段 2 3 d を反射板 2 2 c の光路上の前方位置に配置する。

## 【 0 0 7 3 】

図 6 ( c ) に示す構成例は、偏光分離合成手段に対して対称な位置において、

二つの反射板を偏光成分の入射角及び出射角を45度に配置し、さらに、1つの反射板を二つの反射板を結ぶ光路上であってこれらの反射板に対して垂直方向に配置する。偏光制御手段の他の配置態様は、 $\lambda/12$ 波長の偏光制御を行う偏光制御手段を、3つの各反射板の光路上の前方位置に配置する。この構成例では、 $\lambda/12$ 波長の偏光制御を行う偏光制御手段23e, 23f, 23gを各反射板22a, 22b, 22cに配置する。

## 【0074】

図6(d)に示す構成例は、図6(b), (c)の構成例と同様に、3つの反射板を互いに直交に配置する構成であり、偏光分離合成手段21と隣接する何れか一方の反射板をプリズム等の全反射ミラーとし、残りの二つの反射板の光路上の前方位置に $\lambda/8$ 波長の偏光制御を行う偏光制御手段を配置する。この構成例では、反射板22bをプリズムとし、反射板22a, 22cの光路上の前方位置に $\lambda/8$ 波長の偏光制御を行う偏光制御手段を配置する構成を示している。なお、偏光分離合成手段21は偏光合成分離膜21aを1組のプリズム21b, 21cで挟んで構成している。

## 【0075】

図6(e)に示す構成例は、偏光分離合成手段21に対して対称な位置において、二つの反射板を偏光成分の入射角及び出射角を22.5度に配置し、 $\lambda/2$ 波長の偏光制御を行う偏光制御手段を二つの反射板間の光路上に配置する。この構成例では、 $\lambda/2$ 波長の偏光制御を行う偏光制御手段23hを反射板22a, 22bの間の光路上に配置する。

## 【0076】

図6(f)に示す構成例は、偏光分離合成手段21に対して対称な位置において、二つの反射板を偏光成分の入射角及び出射角を22.5度に配置し、 $\lambda/10$ 波長の偏光制御を行う偏光制御手段を、二つの反射板の光路上の前方位置、及び二つの反射板間の光路上に配置する。この構成例では、 $\lambda/10$ 波長の偏光制御を行う偏光制御手段23i, 23jを反射板22a, 22bに配置し、 $\lambda/10$ 波長の偏光制御を行う偏光制御手段23kを反射板22aと反射板22bとの間の光路上に配置する。

## 【 0 0 7 7 】

一般的に、液晶セルを用いる構成では、PDL（偏光依存性損失：Polarization Dependent Loss）や、PMD（偏光モード分散：Polarization Mode Dispersion）による光損失が問題となる。例えば、PDLは、液晶セルが備える電極の透過に伴う信号強度の低下によるものがあり、液晶セルを通過する回数が多い構成で各偏光に対する光路がわずかに異なると、この偏光依存性損失が大きくなる場合がある。また、PMDでは、直交する偏光モードによって光パルスの分散の程度が異なるため、光路長が異なればこの光分散による信号劣化が大きくなる。

## 【 0 0 7 8 】

このような光損失に対して、本発明のダイナミックイコライザに用いる液晶光スイッチ素子では、偏光成分は同じ光路を通過し、結果的に光路長や光学特性を同一とすることができるため、低PDL化、低PMD化とすることができる。

## 【 0 0 7 9 】

図7は、本発明の液晶光スイッチに用いる偏光制御手段に適用することができる液晶セルの構成例である。

ここでは、液晶セルと反射板とを組み合わせた構成について説明する。液晶セルと反射板との組み合わせにおいて、光入射側から見たとき、反射板を液晶セルの外側に配置する構成と、反射板を液晶セルの内側に配置する構成がある。図7（a）は反射板を液晶セルの外側に配置する構成例を示し、図7（b）、7（c）は反射板を液晶セルの内側に配置する構成例を示している。

## 【 0 0 8 0 】

図7（a）において、液晶セル30は、光入射側から順に、ガラス等の基板31a、ITO等の透明電極膜32a、配向膜33a、液晶層34、配向膜33b、透明電極膜32b、基板31b、外部反射板35を配置して構成される。ここで、外部反射板35は、誘電体多層膜、アルミや金等の高反射性材料からなる金属膜とすることができる。

## 【 0 0 8 1 】

また、図7（b）において、液晶セル30は、光入射側から順に、ガラス等の基板31a、ITO等の透明電極膜32a、配向膜33a、液晶層34、配向膜



33b、内在反射板36、導電膜37、基板31bを配置して構成される。ここで、内在反射板36は、導電膜37による電場印加を行うために誘電体多層膜とする。また、導電膜37はITOによる透明電極膜を用いることができ、基板31bはガラス等の透明な材料に限らず不透明な材料を用いることもできる。

#### 【0082】

また、図7(c)において、液晶セル30は、光入射側から順に、ガラス等の基板31a、ITO等の透明電極膜32a、配向膜33a、液晶層34、配向膜33b、内在反射板38、基板31bを配置して構成される。ここで、内在反射板38は、下部電極を兼ねるため金属膜とする。基板31bはガラス等の透明な材料に限らず不透明な材料を用いることもできる。

#### 【0083】

上記各構成の液晶セルにおいて、配向膜の下部（あるいは電極の上部）に上下の基板の短絡防止用絶縁膜を形成することもできる。また、液晶セルとプリズムとの間に空気層が介在する構成では、液晶セルの表面において不要な反射を防止するために、誘電体多層膜による反射防止膜（AR: Antireflection Coating）を形成することが望ましい。

#### 【0084】

また、液晶素子の配向は、アンチパラレル配向又はパラレル配向とすることができる。また、液晶は強誘電体液晶やツイストネマチック液晶等を使用することができる。

#### 【0085】

上記液晶セルにおいて、本発明の液晶光スイッチは、入射直線偏光の方位角を90度回転と、そのままの状態による0度回転の二つの状態で制御するスイッチ動作を行うことができる。また、階調制御を行うことができる液晶を用いることで、中間状態の偏光によって可変光減衰器を構成することもできる。

#### 【0086】

また、液晶セルのスイッチ動作を利用して光の切替を行う場合には、この液晶セルの応答速度は液晶セルの厚みに依存する。本発明の液晶光スイッチでは、 $\lambda/2$ 波長の偏光変換を行うために複数の液晶セルを用いる構成とすることで各液

晶の厚みを薄くして応答速度を速めることができる。

## 【 0 0 8 7 】

また、応答速度は2乗で反映されるため、例えば、同一の反射型の液晶セルで比較したとき、各液晶セルの厚みを $1/2$ とすることで4倍となり、各液晶セルの厚みを $1/3$ とすることで応答速度は9倍となる。

## 【 0 0 8 8 】

次に、光強度を変更した光を入射方向とは異なる方向に出射する通過型のダイナミックゲインイコライザについて、図8を用いて説明する。なお、図8(a)は光強度のモニタ機能を備えない構成例であり、図8(b)は光強度のモニタ機能を備えたる構成例である。

## 【 0 0 8 9 】

図8(a)に示す構成例において、本発明のダイナミックゲインイコライザ1Dは、入射した光を分光する分光器4と、分光器4で分光された分光成分を入射する液晶光スイッチ5Bと、液晶光スイッチ5Bで光強度を変更され通過した光の各波長を合波する合波器20と、入射端と分光器4との間、分光器4と液晶光スイッチ5Bとの間に配置される光学器3(レンズ3a, 3b)とを備える。合波器20は、分波した後にそれぞれ合波させる機能を有する例えば薄膜フィルタを使った構成、あるいは、レンズ3b, 分光器4, レンズ3a, コリメータ6aを配置して、分波した光を光ファイバ2bに結像させる構成とすることができる。

## 【 0 0 9 0 】

入射光は、光ファイバ2aから入射することができる。光ファイバ2aを通った光は、光ファイバ2aの端部に接続されたコリメータ6aを介し、レンズ3aを通過して分光器4に導かれる。分光器4により各波長に分光された光成分は、レンズ3bを通して液晶光スイッチ5Bに導入される。

## 【 0 0 9 1 】

通過型の液晶光スイッチ5Bは、導入された各波長成分の光強度を変更し、強度変更した光を通過させる。液晶光スイッチ5Bを通過した光は、合波器20により集められ光ファイバ2bに導かれる。液晶光スイッチ5Bは各波長毎に光強

度を変更することで、光ファイバ 2 b に導かれた光の光強度を所定の波長特性にすることができる。例えば、光ファイバ 2 a から入射される光が、光を増幅する利得媒質の利得が波長に依存して変化する場合には、液晶光スイッチ 5 B によりこの利得の波長依存性を補償するよう、入射した光強度を変更し出射する。

## 【 0 0 9 2 】

通過型の液晶光スイッチ 5 B によれば、入射端と出射端を異ならせることができるため、光を分離するサーキュレータや二芯コリメータを不要とすることができる。

## 【 0 0 9 3 】

また、図 8 (b) は光強度のモニタ機能を備え、このモニタした光強度を用いて液晶光スイッチ 5 B を制御する構成例である。

図 8 (b) において、液晶光スイッチ 5 B は、フォトダイオードアレイ (P D A) 8 等の光強度検出器を備える。液晶光スイッチ 5 B は、入射光の光強度を変更して入射方向と異なる方向に出射すると共に、さらに、光強度変更した残りの光を入射方向及び出射方向と異なる方向に導く。フォトダイオードアレイ 8 は、出射光以外の光を取り込み各波長毎の光強度を検出する。フォトダイオードアレイ 8 で検出された検出信号はモニタ装置 9 でモニタされ、モニタ出力は制御手段 1 0 により液晶光スイッチ 5 B を制御する。なお、モニタ出力は、図示しない表示装置に表示してもよく、また、制御手段 1 0 を備えず、モニタ出力のみを表示することもできようにしてもよい。なお、光ファイバ 2 a, 2 b はシングルモードファイバとする。

## 【 0 0 9 4 】

次に、出射光を入射光と異なる方向に導く通過型の液晶光スイッチの構成について図 9 を用いて説明する。通過型の液晶光スイッチについても、前記した反射型の液晶光スイッチと同様に、一次元配置及び二次元配置とすることができる。以下、一次元配置を例として説明し、二次元配置については説明を省略する。

## 【 0 0 9 5 】

図 9 (a) は、液晶光スイッチを構成する複数の液晶光スイッチ素子の一次元配置を示している。複数の液晶光スイッチ素子 5 - 1, 5 - 2, 5 - 3, ..., 5

— $n$ を、分光器が分光するラインに沿って配置し、各波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ に対応させる。これにより、各液晶光スイッチ素子 $5-1, 5-2, 5-3, \dots, 5-n$ は、それぞれ波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ の光強度を変更し、光強度変更した光を入射方向と異なる所定方向に出射する（例えば、図9中のPの矢印）。また、残りの光は入射方向及び出射方向と異なる方向に導かれる（例えば、図9中のQの矢印）。なお、図9に示すPの方向とQの方向の位置関係は、説明のために便宜上示したに過ぎず、この位置関係に限られるものではない。また、複数の液晶光スイッチ素子を二次元配置して液晶光スイッチを構成することもできるが、ここでは説明を省略する。

## 【0096】

次に、フォトダイオードアレイを備える通過型の液晶光スイッチの構成について図9（b）を用いて説明する。なお、ここでは、複数の液晶光スイッチ素子を一次元配置の例を示している。この液晶光スイッチは、図9（a）に示した構成と同様に一次元配置した各液晶光スイッチにフォトダイオードアレイ8を備える。フォトダイオードアレイ8は液晶光スイッチ素子の一出力端に併設する。

## 【0097】

分光器が分光するラインに沿って、複数の液晶光スイッチ素子 $5-1, 5-2, 5-3, \dots, 5-n$ を並べて配置し、この液晶光スイッチ素子に、フォトダイオードアレイ $8-1, 8-2, 8-3, \dots, 8-n$ を併設する。液晶光スイッチ素子 $5-1, 5-2, 5-3, \dots, 5-n$ は、それぞれ波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ の光強度を変更し、光強度変更した光を入射方向と異なる所定方向に出射する（例えば、図9中のPの矢印）。残りの光は入射方向及び出射方向と異なる方向に導かれ、フォトダイオードアレイ $8-1, 8-2, 8-3, \dots, 8-n$ は、この残りの光の光強度を各波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ 毎に検出し、検出信号（例えば、図9中のRの矢印）を出力する。

## 【0098】

次に、出射光を入射光と異なる方向に導く通過型の液晶光スイッチに用いる液晶光スイッチ素子の構成態様を、図10を用いて説明する。

図10は、片偏光のみを用いて液晶光スイッチを構成する例である。図10に

示す液晶光スイッチは、図 6 (d) に示すように、液晶光スイッチ素子 5 が備える偏光分離合成手段 2 1 - 1 の一端に偏光分離合成手段 2 1 - 2 を配置し、偏光分離合成手段 2 1 - 2 の一端を入力端 (I N) とし、偏光分離合成手段 2 1 - 1 の他端及び偏光分離合成手段 2 1 - 2 の他端を出力端 (それぞれ、O U T 2, O U T 1) とする。この構成によれば、例えば入力端 I N から入力した場合には、液晶光スイッチ 5 による偏光変換を行わない状態では出力端 O U T 1 から出力し、液晶光スイッチ 5 による偏光変換を行う状態では出力端 O U T 2 から出力する。この出力端 O U T 1 又は出力端 O U T 2 の何れか一方を出射端とし、他方をモニタ用の端部とする。

## 【 0 0 9 9 】

本発明のダイナミックイコライザは、例えば、長距離伝送用の 1. 5 5  $\mu$ m 帯やメトロエリアなどに用いられる E D F A (エリビウム添加ファイバ増幅器) の利得媒質の利得が波長に依存して変化する場合は利得の波長依存性の補償に適用することができる。

## 【 0 1 0 0 】

また、本発明は、光強度の変更に M E M S 等の機械的要素に代えて液晶光スイッチを用いることにより、部品点数や調整箇所を削減することができ、コストを下げることができる。

## 【 0 1 0 1 】

また、本発明のダイナミックイコライザに用いる液晶光スイッチ素子において、偏光ビームスプリッタで分離された二つの偏光成分が同一光路を通ることにより、低 P D L 化、低 P M D 化することができる。

## 【 0 1 0 2 】

また、本発明のダイナミックイコライザに用いる液晶光スイッチによれば、フォトダイオードアレイを出力の片側に設けることにより、光スペクトルアナライザ機能を備えることができる。

## 【 0 1 0 3 】

## 【発明の効果】

以上説明したように、本発明のダイナミックゲインイコライザによれば、M E

MS等の機械的可動部を備える機構を用いることなく、特定波長を選択的に制御し、波長毎に光強度を等価することができる。機械的可動部を備えていないため、制御性及び信頼性を高めることができる。

【0104】

また、本発明のダイナミックゲインイコライザによれば、補償によって残余した光は、外部に取り出すことができるため、散乱光や発熱の問題を除くことができる。

【0105】

また、本発明のダイナミックゲインイコライザは、補償によって残余した光をモニタするため、光をモニタするために別途に光スペクトルアナライザを設ける必要がない。また、光をモニタするための光分岐を不要であるため、光分岐による光強度の減少を防ぐことができる。

【0106】

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明のダイナミックゲインイコライザの概略構成を説明するための図である。

【図2】

液晶光スイッチの構成、及び液晶光スイッチによる光の波長特性の制御を説明するための図である。

【図3】

フォトダイオードアレイを備える液晶光スイッチの構成、及び液晶光スイッチによる光の波長特性の制御を説明するための図である。

【図4】

本発明に用いる液晶光スイッチ素子の第1の構成態様を説明するための図である。

【図5】

本発明に用いる液晶光スイッチ素子の第2の構成態様を説明するための図である。

【図 6】

本発明に用いる液晶光スイッチ素子の第2の構成態様を説明するための図である。

【図 7】

本発明のダイナミックゲインイコライザの他の概略構成を説明するための図である。

【図 8】

光強度を変更した光を入射方向とは異なる方向に出射する通過型のダイナミックゲインイコライザを説明する図である。。

【図 9】

出射光を入射光と異なる方向に導く通過型の液晶光スイッチの構成例を示す図である。

【図 10】

片偏光のみを用いて液晶光スイッチを構成する例を示す図である。

【図 11】

従来の損失フィルタ装置のフィルタリング特性を説明するための図である。

【図 12】

従来提案されているMEMSを用いたダイナミックゲインイコライザの構成を説明するための概略図である。

【符号の説明】

- 1, 1A~1E   ダイナミックゲインイコライザ
- 2, 2a, 2b   光ファイバ
- 3   光学器
- 3a, 3b   レンズ
- 4   分光器
- 5, 5A, 5B   液晶光スイッチ
- 5-1~5-n, 5-1a~5-1m, 5-2a~5-2m, 5-na~5-nm   液晶光スイッチ素子
- 6   コリメータ

- 6 a 一芯コリメータ
- 6 b 二芯コリメータ
- 7 サーキュレータ
- 8, 8-1~8-n フォトダイオードアレイ
- 9 モニタ装置
- 10 制御装置
- 11 偏光ビームスプリッタ
- 13, 14 液晶セル
- 15, 16 反射板
- 17 コリメータ
- 18 サーキュレータ
- 19 光ファイバ
- 20 合波器
- 21, 21-1, 21-2 偏光分離合成手段
- 21 a 偏光合成分離膜
- 21 b, 21 c プリズム
- 22 A, 22 B, 22 a~ 反射板
- 23, 23 a~23 k 偏光制御手段
- 30 液晶セル
- 31 a, 31 b 基板
- 32 a, 32 b 透明導電極
- 33 a, 33 b 配向膜
- 34 液晶層
- 35 外部反射板
- 36, 38 内在反射板
- 37 導電膜
- 101 ダイナミックイコライザ
- 102 光ファイバ
- 103 レンズ



特 2 0 0 2 - 1 3 9 6 5 5

1 0 4 回折格子

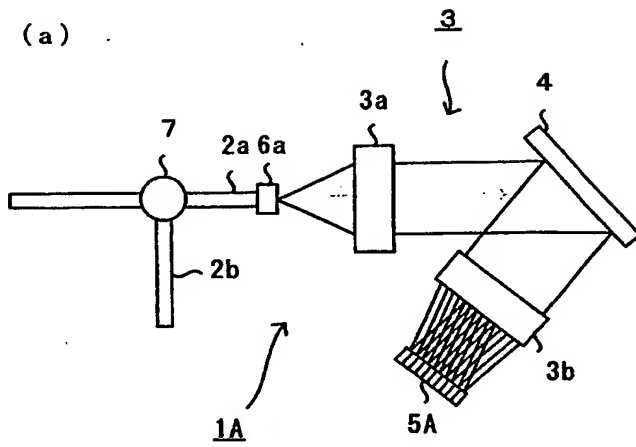
1 0 5 MEMS

【書類名】

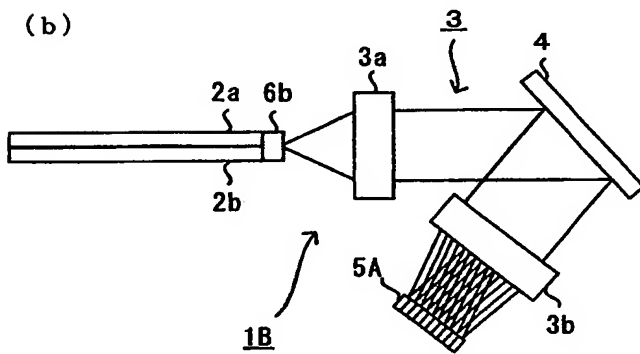
図面

【図 1】

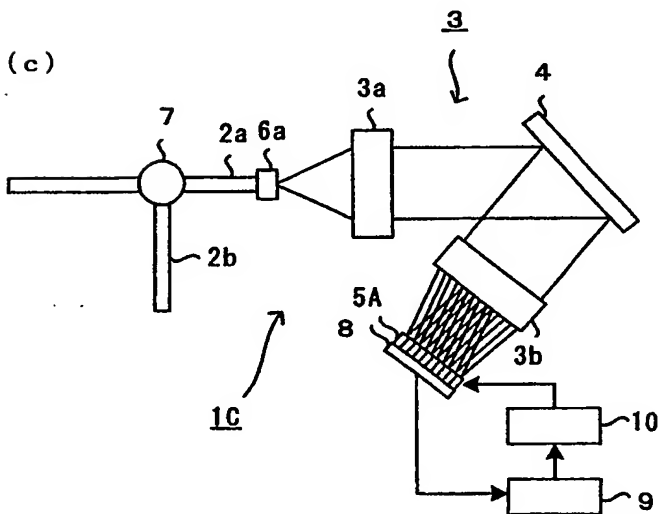
(a)



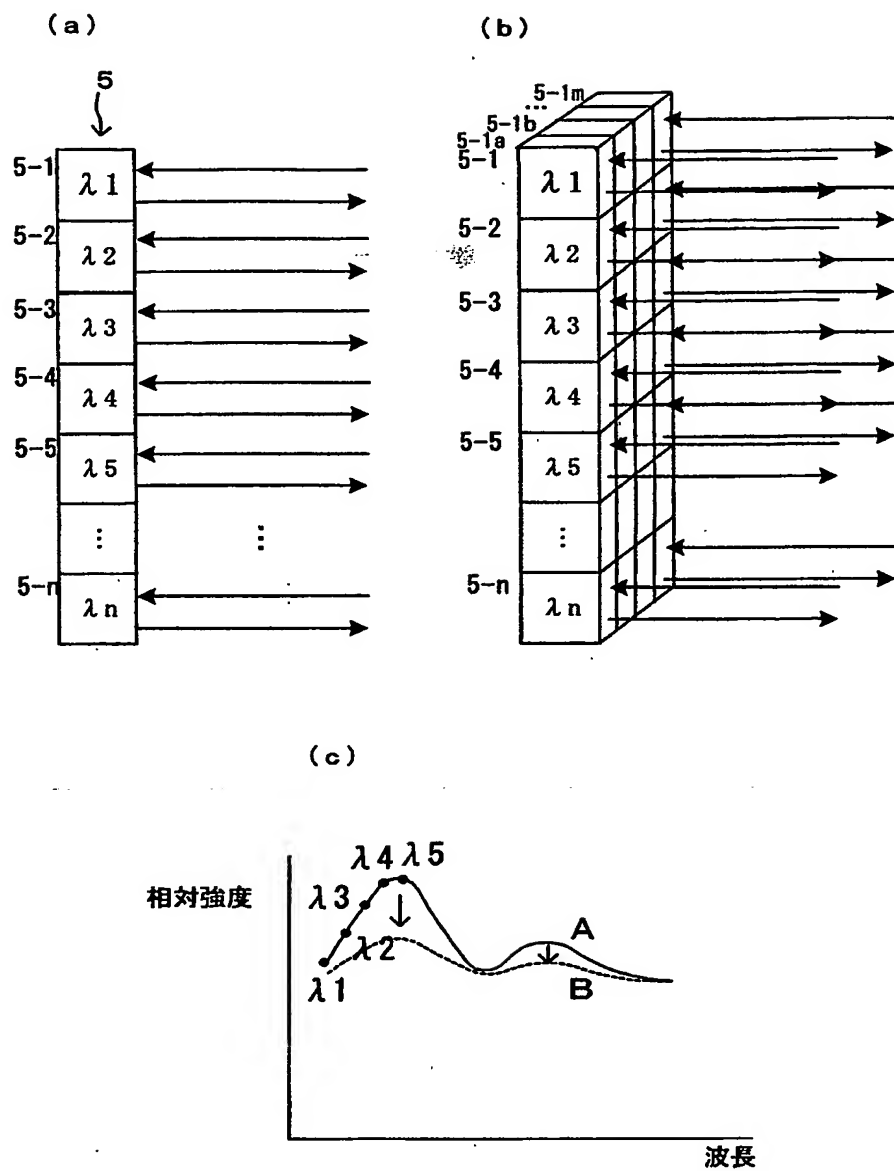
(b)



(c)

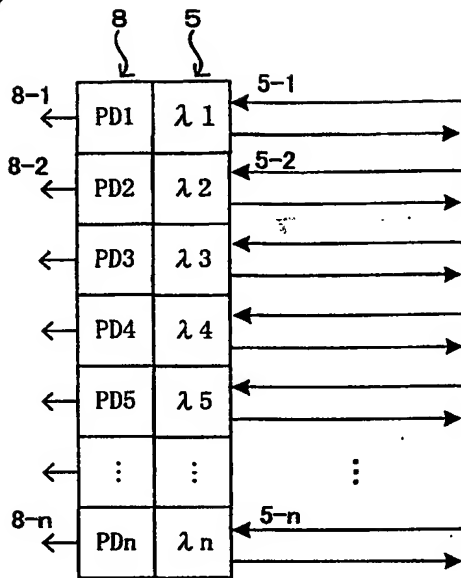


【図 2】

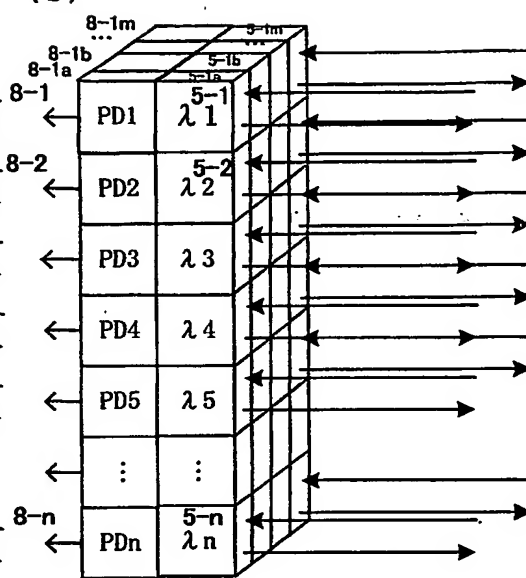


【図3】

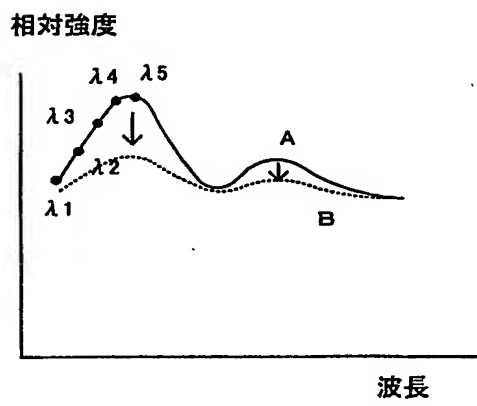
(a)



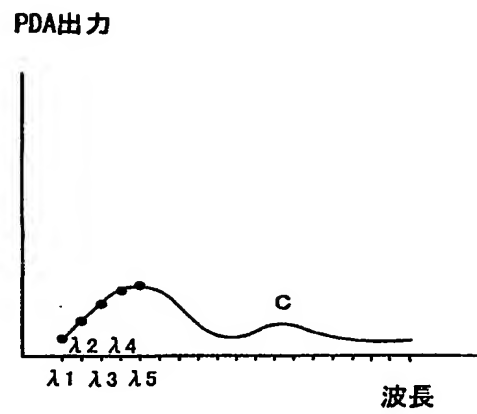
(b)



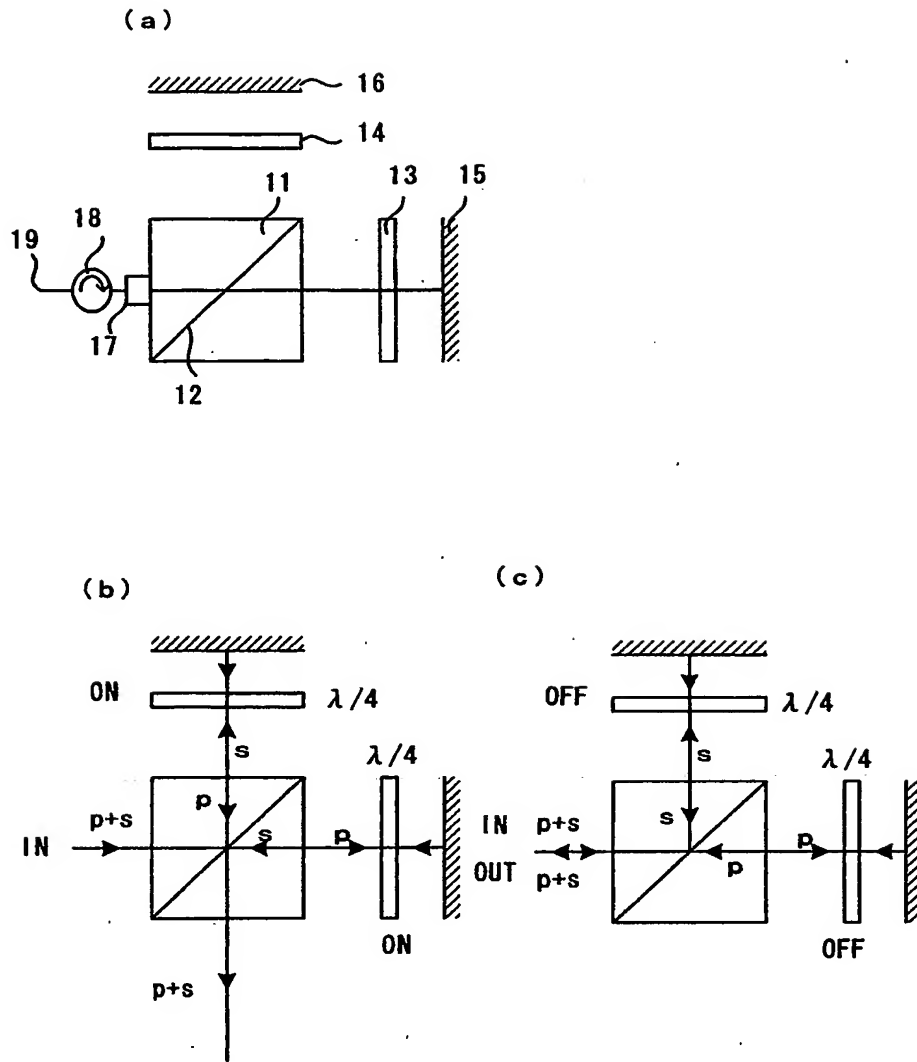
(c)



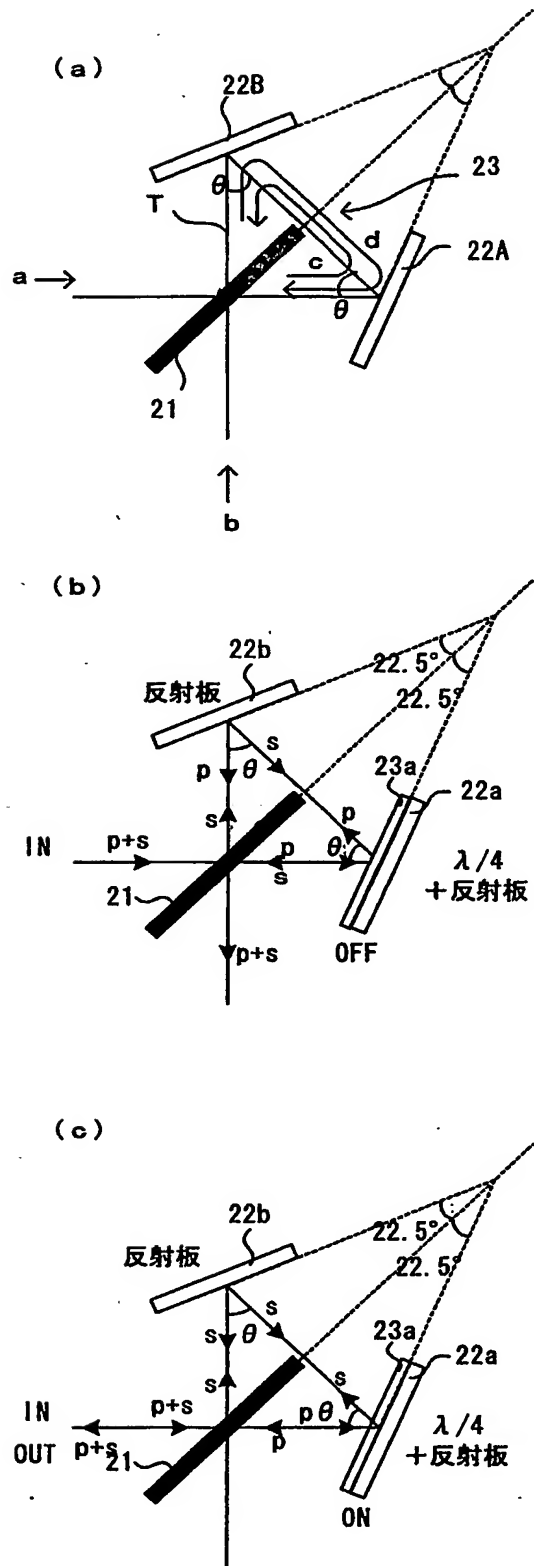
(d)



【図4】



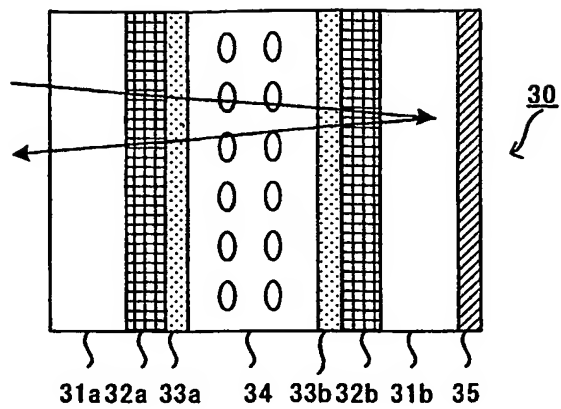
【図 5】



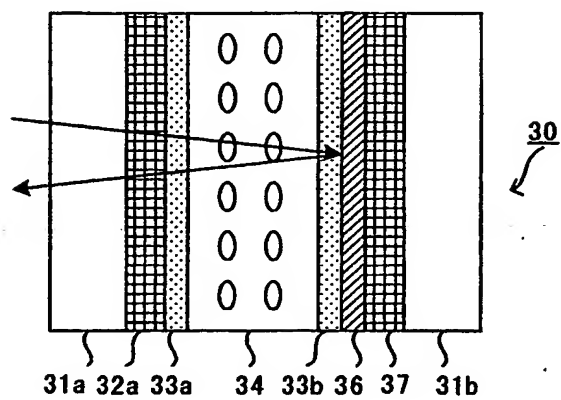


【図 7】

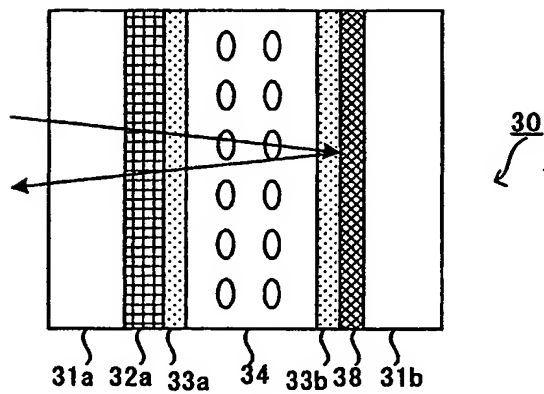
(a)



(b)

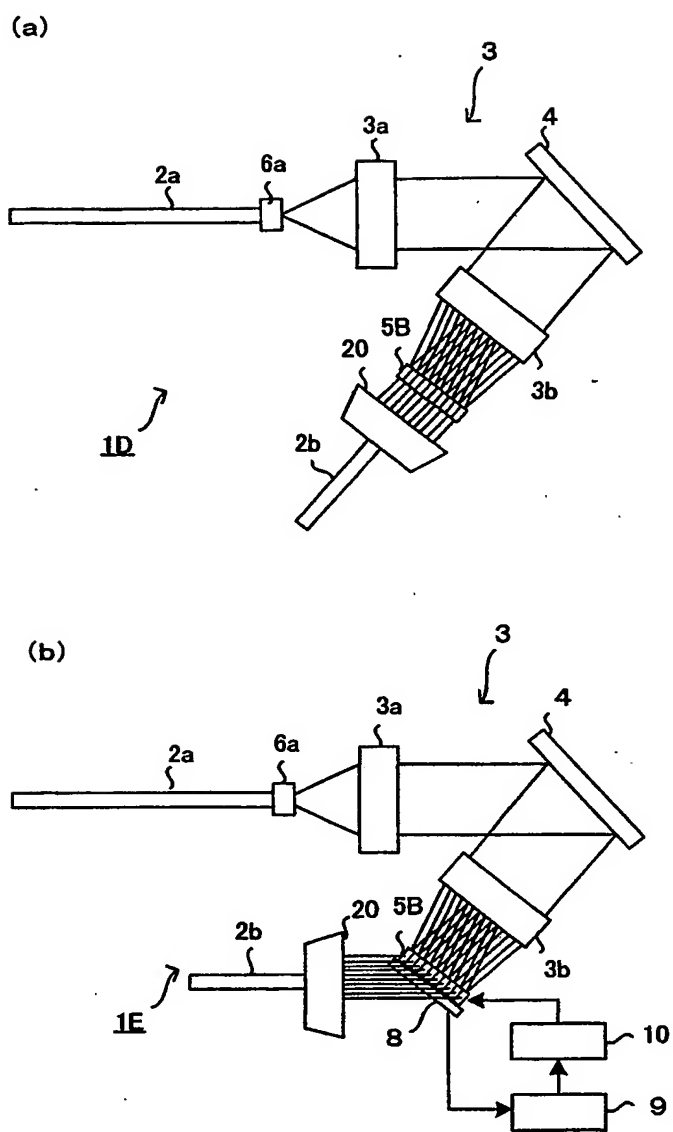


(c)

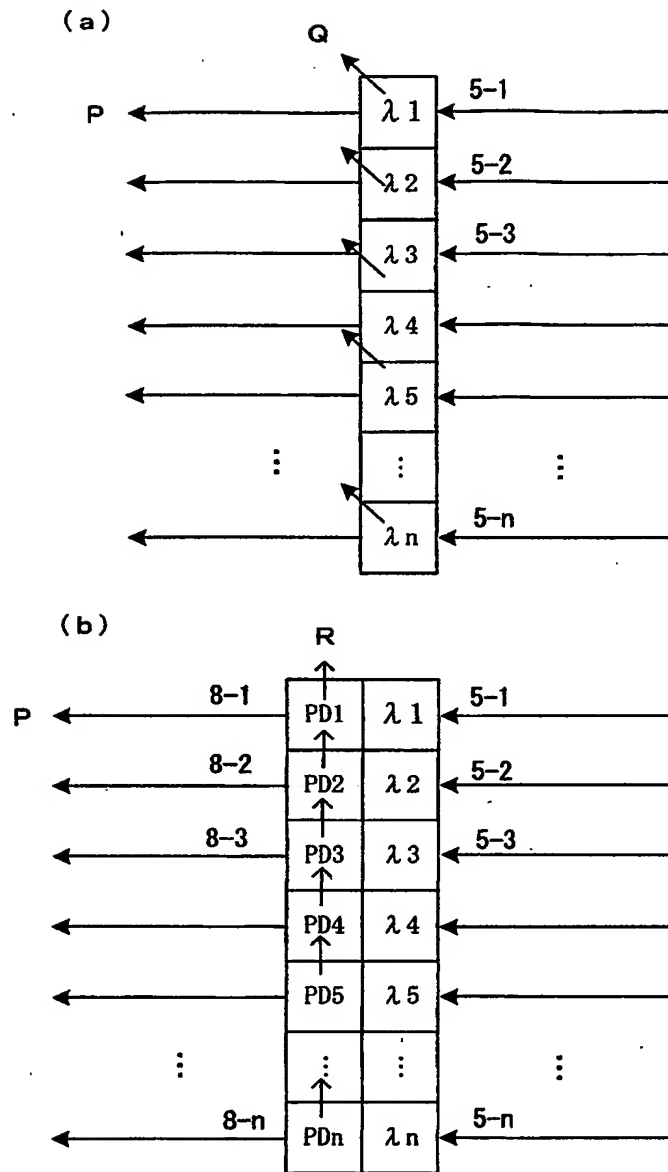




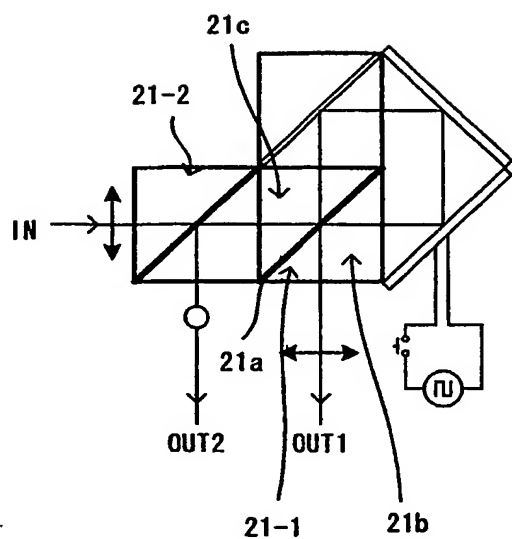
【図 8】



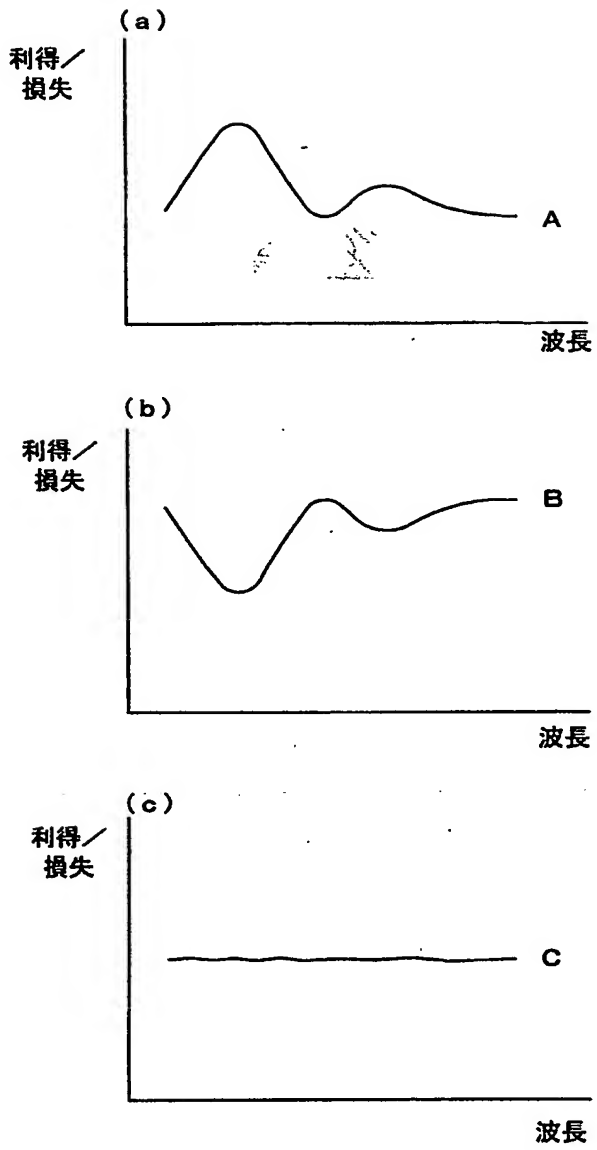
【図9】



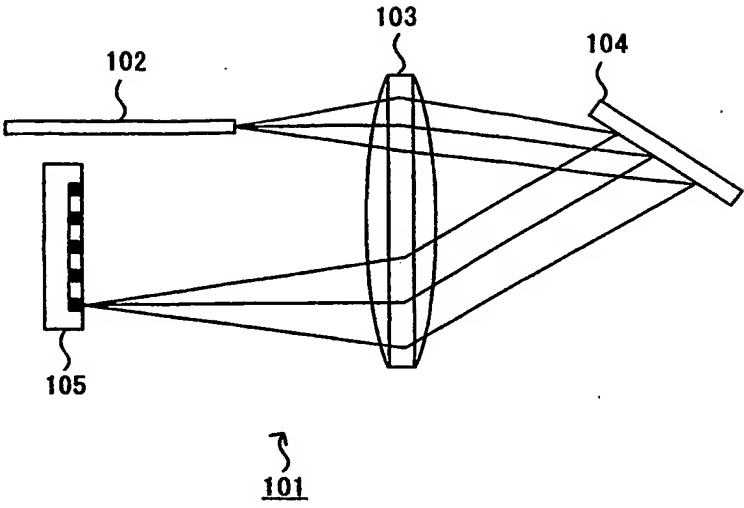
【図 1 0】



【図11】



【図 1 2】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 MEMS等の機械的可動部を備える機構を用いることなく、特定波長を選択的に制御し、波長毎に光強度を等価することができるダイナミックイコライザを提供する。

【解決手段】 ダイナミックゲインイコライザは、入射端から入射した光を分光する分光器と、分光器で分光された分光成分を入射する液晶光スイッチと、入射端と分光器との間、及び／又は分光器と液晶光スイッチとの間に配置されるレンズ系とを備えた構成とし、液晶光スイッチは、入射した分光成分の光強度を波長毎に変更して出射する。

【選択図】 図 1

特2002-139655

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2002-139655
受付番号	50200693826
書類名	特許願
担当官	第二担当上席 0091
作成日	平成14年 5月16日

<認定情報・付加情報>

【提出日】 平成14年 5月15日

次頁無

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000001960]

1. 変更年月日 2001年 3月 1日  
[変更理由] 住所変更  
住 所 東京都西東京市田無町六丁目1番12号  
氏 名 シチズン時計株式会社